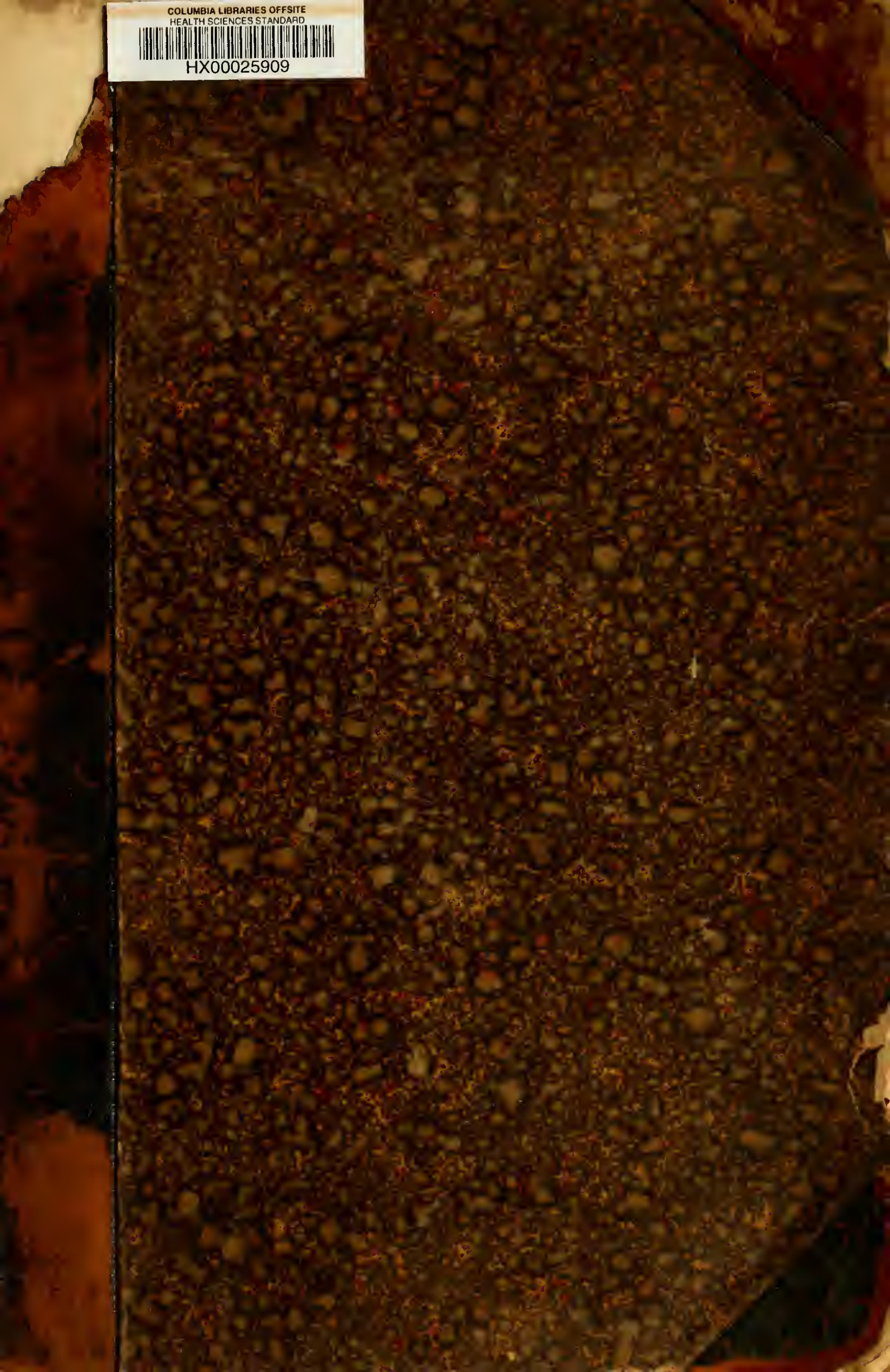


COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE
HEALTH SCIENCES STANDARD
HX00025909


EX LIBRIS
GEORGE SUMNER HUNTINGTON



BEITRÄGE

ZUR

KENNTNISS DER FÜLLUNG UND ENTLEERUNG

DES

HERZENS

VON

L. KREHL.

Des XVII. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

Nº V.

MIT SIEBEN TAFELN.

(Aus dem physiologischen Institute zu Leipzig.)

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1891.

Das Manuscript eingeliefert am 6. December 1890.
Der Abdruck vollendet am 15. Juni 1891.

BEITRÄGE

ZUR

KENNTNISS DER FÜLLUNG UND ENTLEERUNG

DES

HERZENS

VON

L. KREHL.

(AUS DEM PHYSIOLOGISCHEN INSTITUT ZU LEIPZIG.)

MIT VII TAFELN.

Jeder Versuch, die Herzmusculatur so zu präpariren, dass man aus dem Verlauf der Fasern die Formveränderung des Herzens ableiten könne, ist vorerst vollkommen aussichtslos. Die Fibrillen am Herzen des ausgebildeten Menschen sind so vielfach verschlungen, die Fasern theilen sich so häufig, geben so viele Fortsätze ab und gehen so oft in andere Ebenen über, dass man auch bei der sorgfältigsten Präparation mit einer neuen Methode, welche eine viel feinere Zerlegung der Musculatur gestattete als sie früher ausgeführt werden konnte, durchaus nicht im Stande war, Fasern überhaupt von Anfang bis zu Ende zu verfolgen.

Nicht einmal Gruppen von Fibrillen kann man in ihrem ganzen Verlaufe nachgehen, weil die Fasern nie auf längere Strecken zu Bündeln vereinigt bleiben. An Stelle dieses hoffnungslosen Versuches, die Faserung des ganzen Herzens zu entwirren, musste man sich darauf beschränken, den Verlauf der Fibrillen an einzelnen Stellen klar zu legen und daraus Schlüsse zu ziehen auf die Formveränderungen derselben während der verschiedenen Phasen der Herzrevolution. Dies ist in der That möglich; denn, wie C. Ludwig hervorgehoben hat, ist bei dem äusserst verwickelten Bau der Herzmuskelfaserung die Richtung, in der die Fibrillen wirken, viel mehr von dem Verhältniss zu den benachbarten Bündeln und den dadurch bedingten Hemmungen abhängig als von der Lage der Anfangs- und Endpunkte. Form und Faserung einzelner Herzstücke wurde nach dem Vorgang von Hesse in systolischem und diastolischem Zustande verglichen, weil man dadurch erfahren konnte, wie die eine Form in die andere übergeht. Bei dieser Art der Untersuchung wurden zugleich Aufschlüsse gewonnen über Form der Höhlen und der Mündungen, sowie über die Stellung der Klappen während beider

Herzphasen. Das Material, welches den Untersuchungen zu Grunde lag, bestand vorwiegend aus menschlichen Herzen: alles was an diesen präparirt werden konnte, wurde an ihnen untersucht. Für manche Versuche war indess die Benutzung von Hundeherzen nothwendig, weil in der Regel diese allein so frisch gewonnen werden konnten, dass man an ihnen je nach Belieben die systolische oder diastolische Form herzustellen im Stande war.

1. Die Methoden

mussten die Herstellung der systolischen und diastolischen Herzform und die Präparation der Faserung in beiden gestatten.

Fixirung des Herzens in diastolischem Zustande. Es wurden Herzen gewählt, die noch nicht in Todtenstarre gerathen waren, oder solche, bei denen dieselbe bereits wieder verschwunden war; diese wurden unzerschnitten dem Körper entnommen. Alle Gefässe ausser Vena cava superior und einer Lungenvene wurden durch fest eingebundene Korke wasserdicht verschlossen; in die beiden genannten Gefässe banden wir Glasrohre von entsprechender Weite und füllten das Herz von ihnen aus mit Wasser. Dies geschah unter hydrostatischem Druck von 50—100 mm Hg. Das Wasser dringt von den grossen Venen aus in die Kammern und von der Aorta aus in sämmtliche Kranzgefässe; von diesen filtrirt es langsam durch die Herzwände, wobei aus denselben grosse Mengen von Farbstoff ausgewaschen werden. Das Herz kommt dabei in den Zustand der stärksten Diastole, wohl einer stärkeren als sie je im Leben erreicht wird; denn die Füllungsdrucke sind um ein beträchtliches grösser als die natürlichen. Allerdings muss zugegeben werden, dass man nichts über die Widerstände weiss, welche die todte aber nicht todtenstarre Herzwand im Vergleich zur lebenden oder vielmehr überlebenden der Füllung entgegensetzt.

Die Wasserdurchleitung wurde 6—8 Stunden unterhalten. Wenn es nun darauf ankam, lediglich die Form des dilatirten Herzens zu untersuchen, so wird der diastolische Zustand mittels 96procentigen Alkohols fixirt, der nach dem Wasser etwa 3—4 Stunden lang das Herz durchströmen musste. Offenbar erhärtet sich durch das Eindringen des Alkohols in sämmtliche Kranzgefässe die Musculatur

sehr schnell; nach der genannten Zeit bleibt das Herz in Diastole stehen und man braucht, um es vollkommen hart zu machen, nur noch 5 Tage absoluten Alkohol ohne Druck anzuwenden. Soll der genauere Verlauf der Muskelfasern untersucht werden, so wird nach der Reinigung mit Wasser die nachher zu besprechende Methode der Zerfaserung angewandt.

Die Fixirung in systolischem Zustande geschah nach dem Vorgange von Hesse durch Wärme. Das frische Herz wird in eine concentrirte Lösung von doppeltchromsaurem Kali von 56° C. gelegt und die Temperatur der Lösung im Verlauf der nächsten Stunde auf der genannten Höhe erhalten. Wie Hesse gezeigt hat, geräth das Herz dadurch in den Zustand stärkster Systole. Es liegt auf der Hand, dass diese Methode nur für Herzen anwendbar ist, die noch contractionsfähig sind und dass sie nur dann eine Berechtigung hat, wenn man gelten lässt, dass sich alle Muskelfasern des Herzens um den gleichen Bruchtheil ihrer Länge zusammenziehen. Ist diese Annahme nicht statthaft, so ist natürlich jeder Versuch, sich künstlich ein systolisches Herz herzustellen, müssig und jede Discussion über die Form des systolischen Herzens überflüssig, weil man dann überhaupt nichts sagen kann. Ausser vielen Hundeherzen gelang es auch nach einer Hinrichtung ein Menschenherz in den systolischen Zustand überzuführen. Dadurch hat man zum ersten Male ein in Systole festgehaltenes menschliches Herz gesehen.

Die Zerfaserung des Herzens geschah durch Einlegen in rohe Salpetersäure. Bei Einwirkung derselben verkürzen sich die Fasern unter Verdickung und das Herz geräth sofort in Systole. Will man die Säurewirkung am diastolischen Organ erreichen, so muss man die Säure mit derselben Methode, wie sie vorhin für Wasser und Alkohol beschrieben wurde, unter Druck von etwa 60 mm Hg durch das Herz leiten, um mittels des erzielten intracardialen Druckes der Entstehung des systolischen Zustandes wenigstens einigermassen vorzubeugen. Der Versuch gelingt nur selten, weil die unter Druck stehende Säure in den meisten Fällen das Herz, besonders an den Vorhöfen, zerreisst und dann, sobald der von innen wirkende Druck nachlässt, natürlich sofort Systole hervorruft. Immerhin war es in einigen Fällen möglich, diastolische Herzen trotz Säurebehandlung zu bekommen.

Die Säure erweicht alles Bindegewebe und zerstört es zum grössten Theil. Man legt, nachdem sie etwa 3 Stunden gewirkt hat, die Herzen Tage lang in Wasser und wechselt es häufig. In demselben quillt das erweichte Bindegewebe und man kann alles, was aus solchem besteht, — Arterien, Klappen, die Verbindung mit den Vorhöfen, Peri- und Endocard — ohne jede Mühe von der Musculatur ablösen und die Muskelfasern selbst wegen der Erweichung des zwischen ihnen liegenden Gewebes sehr leicht von einander trennen. Je nachdem die Säure mehr oder weniger weit in die Tiefe geben soll, lässt man sie längere oder kürzere Zeit wirken. In einigen Fällen war es nothwendig die Säurebehandlung abwechselnd mit dazwischen eingeschobener Quellung vorzunehmen. Handelt es sich um die Untersuchung nur vereinzelter Herzstellen, so kann man diese direct in Säure legen und dann in Wasser quellen lassen; man bekommt sie dann natürlich immer im Zustande der Contraction. Wenn man nach der Wasserbehandlung alles Bindegewebe von der Musculatur entfernt hat, so werden die Stücke in Alkohol gehärtet und können entweder weiter zerfasert oder aufgehoben werden.

2. Der linke Ventrikel.*)

An der linken Kammer hat man, seitdem überhaupt Untersuchungen über die Muskelfaserung angestellt wurden, drei Schichten von Fasern unterschieden: eine dünne äussere, deren Fasern vorn von rechts oben nach links unten gehen, der Längsachse des Ventrikels in ihrer Richtung stark genähert. Eine dicke mittlere, deren Fasern theils ebenfalls von rechts oben nach links unten, theils von rechts unten nach links oben beide mit starker Annäherung an die Horizontale, theils direct horizontal verlaufen. Und eine dritte innerste Schicht, welche in Schraubenwindungen, doch nahezu parallel zur Längsachse der Kammer geht. Als Ausgangs- und Endigungspunkte der Fasern werden der Atrioventricularring, der Aorten-

*) Die Raumbezeichnungen sind so zu verstehen, dass das Herz mit der Basis nach oben und mit nach vorn gerichtetem Conus arteriosus auf die Platte des Tisches gestellt ist und die Atrioventricularöffnungen in die Horizontalebene fallen.

ursprung und die Papillarmuskeln angenommen. Den Zusammenhang dieser drei Schichten stellt man sich so vor, dass jede Faser in jeder Richtung einmal verläuft, also jeder Abtheilung einmal angehört, die Fibrillen somit Achter-Touren bilden. Diesen bekannten Thatsachen konnte mittels der neuen Präparationsmethode einiges Neue zugefügt werden.

Man muss die Fasern, welche dem linken Ventrikel allein angehören, in zwei Arten theilen: solche, die sehnig enden, und solche, welche in sich zurücklaufen, also immer muskulös bleiben. Die ersteren bilden im Allgemeinen die äussere und innere Schicht. Die Fasern derselben setzen sich aussen am Atrioventricularring und an der muskulösen Seite der Aortenwurzel an und zwar vorwiegend an zwei Stellen: dem Knorpel, der die Grenze zwischen der linken und rechten Aortenklappe bildet, und an dem, welcher über dem Boden der hinteren Klappe liegt (Fig. 1). Ausserdem in geringerem Maasse an dem Atrioventricularring. Die Fasern gehen von hier so ab, dass die mehr oberflächlich gelegenen steiler nach abwärts laufen, als die tieferen. Diese Fasern der oberflächlichen Schicht gehen zum grössten Theil in den Wirbel der linken Kammer; nur die, welche von dem hintersten Theile des Ringes entspringen, werden zu den später zu erwähnenden äusseren Fasern des rechten Ventrikels. Diejenigen Fibrillen, welche dem Herzwirbel angehören, biegen in das Innere der Kammer um und laufen als innerste Schicht fast senkrecht nach oben. Hier haben sie zwei Endigungsweisen: sie inseriren entweder in Papillarmuskeln und Chordae tendineae oder am Atrioventricularring; an diesem entweder direct oder durch mehr oder weniger lange Sehnen (Tafel I Fig. 2 u. 3). Es fällt auf, dass diese inneren Längsbündel keine einheitliche Schicht darstellen, sondern aus zahlreichen verschieden dicken Längswülsten bestehen, die durch dünnere Querleisten mit einander verbunden sind (Fig. 2, 3, 4).

Diese Spaltung der inneren Längsschichten ist ja längst bekannt, indess dass Spaltung und Klüftung so ausserordentlich stark sind, wie sie Tafel V Fig. 11 zeigt, ist nur an einem in starker Diastole gehärteten Herzen zu bemerken und noch nicht genügend beachtet worden.

Eine genauere Betrachtung ergiebt, dass die Spaltung der

inneren Schicht in getrennte Längsbündel am stärksten an der Herzspitze und ferner an der ganzen äusseren Wand ist, dass sie an der Scheidewand unterhalb der Aortenmündung fehlt. Hier ist das Endocard vollkommen glatt, man sieht nichts von Muskelzügen unter ihm. Wenn es nach Säurebehandlung entfernt ist, so sieht man auf der Scheidewand zwei auffallende sich kreuzende Muskelzüge: der obere schwächere geht von dem hinteren Aortenknorpel schräg nach vorn und abwärts, er gehört ganz der Scheidewand an. Der weit stärkere tiefer gelegene kommt von dem unteren Theile der Aussenwand und geht an der Scheidewand von hinten unten nach vorn oben (Tafel I Fig. 4). Am contrahirten Herzen springen die beiden Züge vor und haben offenbar hier eine ganz bestimmte Aufgabe, die nachher zu erwähnen ist.

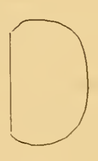
Über die Papillarmuskeln ist dem, was Hesse gesagt hat, nichts Neues zuzufügen. Wie er zeigte, kommen dieselben sämmtlich von der freien Wand her und zerfallen in zwei Hauptgruppen verschieden zahlreicher Spitzen, eine vordere und eine hintere. Es möge nur erwähnt werden, dass die Trennung in einen vorderen und einen hinteren Papillarmuskel, wie sie am Hund deutlich ist, für den Menschen nicht streng gilt (Tafel I Fig. 2 u. 3), dass auch zwischen beiden eine Reihe von Ansatzpunkten für Chordae tendineae sich findet. Die Papillarmuskeln beziehen durchaus nicht alle Fasern aus den innern Längsschichten; ein nicht unbeträchtlicher Theil ihrer Fibrillen stammt aus der Mittelschicht der linken Kammer und biegt an der Grenze von dieser und der Innenschicht scharf in die letztere ein. Dadurch wird natürlich die Befestigung der Papillarmuskeln eine besonders starke.

Wenn man die beschriebenen innern und äussern Fasern der linken Kammer an einem mit Salpetersäure behandelten und nachher gequollenen Herzen von ihren Ursprüngen losschneidet, so kann man sie von den mittleren Schichten, die im Allgemeinen horizontal verlaufen, ohne grössere Mühe trennen. Man hat dann diese letzteren in Gestalt eines Muskelkegels vor sich (Tafel IV Fig. 9 u. 10), welcher eine obere und eine untere Öffnung zeigt; diese ist kleiner als jene und stellt den Ort dar, an dem die äussern Kammerschichten in die inneren umwenden. Der Muskelkegel ist, wie Fig. 10 zeigt, natürlich beträchtlich niedriger als die ganze linke Kammer, denn es fehlt

oben der Atrioventicularring mit den Ansatzstellen der äusseren und inneren Längsfasern, und unten der Umdrehungswirbel jener in diese.

Es muss besonders hervorgehoben werden, dass die Herausschälung der inneren Schichten zwar ohne grössere aber nicht ohne jede Mühe gelingt. Man darf sich nicht vorstellen, dass die mittleren Schichten von den inneren durch eine Bindegewebsplatte getrennt seien. Es gehen vielmehr nicht wenige Fasern aus den äussern Lagen in die mittleren, und aus diesen in die inneren über; alle diese Fibrillen müssen natürlich bei der Herausschälung des Mittelstücks durchrissen werden, so speciell die Muskelzüge, welche in die Papillaren einbiegen.

Das Mittelstück selbst hat etwa einen Querschnitt, wie beistehende Figur zeigt; die Gerade stellt die Scheidewand, die krumme Linie die äussere Wand dar.



Die Muskelfasern dieses Mittelstückes laufen aussen vorn, von rechts oben nach links unten, doch wenig steil, der Horizontalen stark angenähert, an der Seite und hinten aussen in entsprechender Richtung; auf der Innenseite gerade umgekehrt, also z. B. an der seitlichen Wand innen von hinten oben nach vorn unten. Auf der Aussenfläche der Scheidewand gehen sie in derselben Richtung, an der linken Kammerfläche der Scheidewand umgekehrt. Nur zuweilen gelingt es einen Faserzug um einen ganzen Umfang herum zu verfolgen, meist reissen die Fibrillen bei der Präparation ab, weil sie in die Wand hinein verschwinden. Man muss sich die Vorstellung bilden, dass die Fasern dieses Mittelstückes Schlingen darstellen, welche zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren, weil sie nicht sehnig enden. In ihrem Verlaufe biegen sie theils ein-, theils zweimal um. An diesem Verlauf ist zweierlei bemerkenswerth: die Schlingen gehen in allen möglichen Winkeln zur Längsachse der linken Kammer, doch entschieden so, dass die stumpfen Winkel vorherrschen. Und dann wechselt die einzelne Schlinge in ihrem Verlauf häufig ihren Abstand von der idealen Mitte des linken Ventrikels. Das wurde schon erwähnt, als erklärt werden sollte, warum die Schlingen sich häufig nicht auf weitere Strecken verfolgen lasssen, sie durchflechten sich vielfach gegenseitig.

Von den Fasern des Mittelstückes gehen gewiss auch manche durch die Herzspitze, ebenso wie von den äussern und innern Längsfasern sich ein Theil dem Mittelstück beigesellt; es ist nochmals hervorzuheben, dass die Trennung der verschiedenen Systeme von einander immer nur mit Durchreissung von Fasern möglich ist. Jedenfalls muss man aber jetzt die Vorstellung gewinnen, dass nicht alle Fasern des linken Ventrikels einmal sowohl in der Längs- als auch in der Horizontalrichtung verlaufen.

Die Aortenmündung. Die grosse Schlagader steht in einem nach rechts offenen spitzen Winkel zur Basis der Kammer; die Aortenöffnung sieht vollkommen verschieden aus, je nachdem man sie am diastolischen oder systolischen Herzen betrachtet. An letzterem wird sie in ihrer natürlichen Gestalt gewonnen, wenn man ein Glasrohr in die Aorta einbindet, dasselbe mit Blut füllt und nun den Ventrikel nach der angeführten Methode zur Contraction bringt. Am diastolischen Herzen bildet das Aortenostium den rechten Theil der ovalen oberen Öffnung der linken Kammer, und ist lediglich durch eine Haut, von welcher der grosse Mittrallappen herabhängt, vom Ostium atrioventriculare geschieden; diese Haut ist an den beiden knorplichen Stellen, welche schon als Ausgangspunkte von äussern Längsfasern beschrieben wurden, befestigt (Grenze zwischen rechter und linker Aortenklappe, Knorpel an der hinteren Klappe). Die Semilunarklappen selbst sind theils an der muskulösen Scheidewand, theils an der genannten häutigen Wand angesetzt, sie liegen nicht in einer Ebene. Schon Hesse hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Semilunartaschen am zusammengezogenen Herzen zum Theil von Musculatur gebildet werden. In der That findet man das Ostium am systolischen Herzen vollkommen anders als am diastolischen: es ist spaltförmig geworden und zwar spaltförmig durch die genannten Muskelwülste, welche fast allseitig in das Ostium vorspringen und nur an der vorderen Hälfte der linken Aortenklappe fehlen. Diese Muskelwülste entstehen hauptsächlich durch die Contraction jener beiden Schrägzüge, die auf der Innenfläche der Scheidewand schon beschrieben wurden. Fig. 6 zeigt dies aufs Deutlichste. Dass die Aortenmündung in der Systole fast allseitig von Muskeln umschlossen wird, ist nur dadurch möglich, dass die beiden erwähnten Knorpelstücken sehr nahe aneinander rücken. Es erhält also während

der Kammersystole die ganze obere Öffnung der linken Kammer eine mehr ∞förmige Gestalt im Vergleich zur ovalen diastolischen. Oberhalb dieses engen Muskelspaltes liegt der weite Raum der Aortenwurzel, er ist dadurch besonders geräumig, dass über der hinteren Aortenklappe sich ein weiter Recessus auf der Scheidewand nach hinten erstreckt.

Es fragt sich nun, was eröffnen die genannten Befunde Neues für das Verständniss der Bewegungsvorgänge am linken Herzen? Die Theilung der Muskelfasern in vorwiegend längs und vorwiegend quer verlaufende, deren erstere sehnig enden, während die letzteren in sich selbst zurücklaufen, zeigt die Anwesenheit eines besonderen Triebwerkzeuges, welches durch den mittleren Kegel dargestellt wird. Es ist ersichtlich, dass dessen Fasern ganz vorwiegend die Entleerung des linken Herzens bewirken müssen. Wären sie allein da, so müsste sich die linke Kammer bei der Systole verlängern. Diese Verlängerung, welche bei blosser Zusammenziehung der rein horizontalen Fasern eintreten würde, wird verhindert einmal durch die vielen schrägen Fasern, die im Triebwerkzeuge verlaufen, und dann durch die innern und äussern Fasern, welche die Mittelschicht klammerartig umgeben. Die letzteren würden an sich bei ihrer Contraction eine Verkürzung der linken Kammer zur Folge haben: diese Verkürzung ihrerseits wird verhindert dadurch, dass die Quermuskeln (das Triebwerkzeug) zwischen innere und äussere Schichten eingelagert sind. Wenn also beide Systeme von Muskelfasern sich bei der Zusammenziehung die Wage halten, so muss der linke Ventrikel während der Systole nur im Querdurchmesser verkleinert werden, die Längsachse muss im wesentlichen unverändert bleiben. In der That hat Hesse gezeigt, dass beim Hund der Längsdurchmesser der linken Kammer sich nicht verändert. Für den Menschen ist das allerdings noch nicht nachgewiesen; es war bisher eben noch nicht möglich, zwei annähernd gleiche Herzen zu erhalten, von denen man das eine in Systole, das andere in Diastole hätte fixiren können. Indess liegt kein Grund vor, für den Menschen diese Verhältnisse anders als für den Hund anzunehmen.

Bei der Zusammenziehung müssen die innern Schichten der linken Kammer stark gedrückt werden und zwar nicht nur die innern

Längs-, sondern auch die innern Querschichten. Denn wenn ein bandartiger Ring durch centripetale Kräfte so verengt wird, dass sein Flächenraum unverändert bleibt, so muss sich, wie eine mathematische Berechnung, die ich der Güte des Herrn Dr. Starke verdanke, ergiebt, der innere Grenzkreis procentarisch stärker verkleinern als der äussere. Nun liegen aber die Verhältnisse am Herzen ebenso wie an einem Ring von den genannten Eigenschaften: die Fläche eines Herzquerschnitts bleibt in der That während Systole und Diastole unverändert. Um dies zu erweisen, wurden zwei junge Hunde gleichen Wurfs, die genau gleich schwer waren, durch Decapitation getödtet, das Herz des einen wurde in Systole, das des andern in Diastole durch heisse Kalibichromatlösung fixirt. Dann wurden die Herzen in genau gleicher Entfernung von der Herzspitze senkrecht zur Längsachse der linken Kammer in Querschnitte zerlegt und diese planimetrirt; es ergab sich z. B., dass die Musculatur des einen einen Flächenraum von 8,40 qcm, die des andern einen solchen von 8,50 qcm hatte. Daraus geht hervor, dass die Fläche der Musculatur auf Querschnitten bei der Zusammenziehung im wesentlichen unverändert bleibt. Es findet also die Verkleinerung der linken Herzhöhle so statt, wie man ein Faltenfilter durch Verengerung eines horizontal um dasselbe gelegten Ringes verengern würde. Dabei springt eine Anzahl Wülste stark in das Lumen der linken Kammer vor und diese legen sich aneinander; beim Hund sind es die von Hesse beschriebenen vier, beim Menschen, wie Tafel III Fig. 7ª u. 8ª lehren, beträchtlich mehr. Die Aortenmündung wird dadurch freigehalten, dass an der Scheidewand Wülste fehlen und das grosse Segel der Mitralis durch den Blutstrom von der Aortenmündung weggedrängt wird. Die schiefe Stellung der grossen Schlagader zur Atrioventricularebene erleichtert dies wesentlich.

Dadurch, dass die Fasern des linken Ventrikels so vielfach während ihres Verlaufs die Ebene wechseln (die Entfernung von der idealen Mittellinie der Kammer), dadurch, dass sie sich so innig verflechten, wird verständlich, dass die Wand auch für hohe Drücke wasserdicht und so ausserordentlich hart wird, denn die Fasern müssen sich bei der Contraction fortwährend gegenseitig hemmen, zerren und sehr stark anspannen; die grosse Härte ist aber für die Erzeugung hoher Drücke unbedingt nothwendig.

3. Die rechte Kammer.

Der rechte Ventrikel zerfällt in einen Ein- und einen Ausströmungstheil; ersterer hat die Form einer Tasche und ist medial begrenzt von der Scheidewand, lateral von der bogenförmig gekrümmten Aussenwand der rechten Kammer. Der Ausströmungstheil setzt sich röhrenförmig an das vordere Ende der Tasche an; beide Abschnitte sind von einander durch einen stark vorspringenden Muskelwulst getrennt.

Bezüglich der Muskelfasern, welche den rechten Ventrikel bilden, kann man zwischen solchen unterscheiden, welche beiden Kammern angehören, die also von der linken kommen oder zu ihr gehen, und solchen, die dem rechten Ventrikel allein angehören. Unter den letzteren giebt es solche, die nur an der Bildung der Tasche oder des Conus Theil nehmen, und solche, welche sich über beide erstrecken.

Den feineren Bau der Aussenwand des taschenförmigen Theils kann man nur am dilatirten Herzen gut erkennen; sie besteht für die grobe Betrachtung aus zwei Schichten: einer äusseren continuirlichen dünnen und einer inneren netzförmig angeordneten dickeren. Am stark erweiterten Herzen kann man zwischen den dicken Balken der letzteren fast überall das Licht durch die zarte Aussenschicht durchschimmern sehen. Diese ist zum grössten Theil von Fasern gebildet, welche aus dem linken Ventrikel kommen und zwar theils aus der Scheidewand, theils vom hintern Aortenknorpel; sie laufen im wesentlichen von links hinten oben nach rechts vorn unten und gehen zum grössten Theil in den besonderen Wirbel des rechten Ventrikels, welcher kleiner als der des linken, von diesem durch eine Furche getrennt ist. Diejenigen Fasern, welche so horizontal verlaufen, dass sie den Wirbel nicht mehr treffen, gehen über die vordere Commissur in die Aussenwand der linken Kammer und zum Theil in die Commissur selbst hinein. Ein Theil der Aussenschichtfasern unterbricht plötzlich seinen Verlauf und wendet sich mit scharfer Biegung nach innen, um sich den nachher zu erwähnenden innern Fasern beizumischen.

Nicht alle Fasern der Aussenschicht laufen in der angeführten Hauptrichtung; horizontale wurden schon erwähnt; es giebt auch solche,

welche von rechts hinten unten nach links vorn oben gehen; diese setzen sich dann vorn an den Ort, wo sich die Aorta auf die Scheidewand stützt, zwischen Pulmonal- und Tricuspidalöffnung. Von den Fibrillen, welche die Hauptrichtung verfolgen, kommt nur ein Theil aus der linken Kammer, ein anderer entspringt vom rechten Atrioventricularring.

Die zerklüftete innere Schicht der Aussenwand des Recessus wird fast ganz von kurzen Fasern gebildet, die ihrem Verlauf nach der Tasche allein angehören (Tafel VI Fig. 15). Sie entspringen am oberen Rand der Scheidewand in seiner ganzen Ausdehnung und gehen zunächst senkrecht nach abwärts, stellen somit eine besondere Schicht des Septums dar. In verschiedener Höhe wenden sie sich nach dem Lumen der rechten Kammer, durchziehen dieses in wechselnden Höhen (die untersten bilden den Boden des Recessus) und steigen in getrennten Balken theils als Trabekeln theils als Papillaren an der Aussenwand der Tasche in die Höhe, um sich entweder mittels Chorden am Segel oder mit mehr weniger kurzen Sehnen an den Atrioventricularring anzusetzen (Tafel VI Fig. 15). Diese Balken liegen im diastolischen Herzen scheinbar regellos, am systolischen sieht man, dass sie zwei Hauptrichtungen einnehmen; die grössere Mehrzahl läuft von unten nach oben, also in der Längsachse des Herzens; die kleinere Zahl ist senkrecht dazu gestellt, also in die Längsachse des Conus arteriosus (Tafel VI Fig. 15). Es wurde schon erwähnt, dass die senkrechten Trabekeln Fasern aus der äussersten Schicht der Taschenwand erhalten, diese müssen natürlich eine feste Verbindung beider Schichten hervorrufen. Unter den Trabekeln der Tasche ist einer besonders ausgezeichnet: der dicke Wulst, welcher die Grenze zwischen Recessus und Conus bildet (Tafel I Fig. 2, Tafel VI Fig. 16 u. 18). Er geht vom Aortenstück der Scheidewand über den Boden der Tasche nach der Aussenwand und unter dem Dach des Conus wieder nach dem Aortenursprung zurück.

Weiter sind unter den Balken einzelne ausgezeichnet dadurch, dass sie aus dem Gewirr am Boden des Recessus mitten in demselben sich erheben und Ansatzpunkte von Chordae tendineae bilden: das sind die an Zahl wechselnden Papillarmuskeln der rechten Kammer, die nicht von der Scheide- oder Aussenwand ausgehen. Der vordere von ihnen entspringt häufig, ja meistens aus dem grossen

Muskelwulst an der Grenze von Recessus und Conus. Ein genaues Studium ihrer Faserung ergiebt, dass die Fibrillen, aus denen sie sich zusammensetzen, von allen Seiten heranziehen, von innen, aussen, vorn, hinten und unten: die Fasern, welche von der Scheidewand stammen, entspringen, wie erwähnt, am obern Rand derselben, die von aussen her kommenden stammen aus dem linken Ventrikel und gehören zu den bereits genannten, welche durch die Aussenschicht durchbrechen. Die vorderen Fasern kommen vom Lungenarterienrand; die unteren und hinteren stammen theils ebenfalls aus den Aussenschichten der linken Kammer, theils vom Atrioventricularrand.

Die freistehenden Papillarmuskeln der rechten Kammer sind also fest und gleichmässig nach allen Seiten befestigt, und das ist von grösster Bedeutung für ihre Function. Ausser den beiden erwähnten Arten von Papillarmuskeln gibt es in der rechten Kammer bekanntlich noch solche, die von der Scheidewand ausgehen; unter diesen ist der vorderste dadurch ausgezeichnet, dass er im Gegensatz zu allen andern Papillaren des Herzens vollkommen horizontal steht.

Die Aussenwand des Conus arteriosus lässt, ebenso wie die der Tasche, zwei Schichten erkennen: eine innere, (für ihn) längs verlaufende und eine äussere Ringschicht. Erstere ist am deutlichsten am systolischen Herzen erkennbar: man sieht hier eine Anzahl von Längswülsten, welche an der Klappeninsertionsstelle enden und in der Gegend des abgrenzenden Ringes mit den Querleisten der verticalen Trabekeln des Recessus in Verbindung stehen (Tafel VI Fig. 15). Dort wo die Semilunarklappen sich ansetzen, bilden die zusammengezogenen Längswülste genau eben solche Polster für die Pulmonalklappen, wie sie an der Aorta beschrieben wurden. Die äusseren Querschichten gehören theils dem Conus allein an, theils setzen sie sich von ihm auf den linken Ventrikel fort. Sie entspringen von der Scheidewand dort an der Stelle, wo sie zugleich Aortenwand ist (Tafel I Fig. 1). Ein Theil entspringt beim Hund wenigstens von einer starken Sehne, die von der Grenze zwischen rechter und linker Pulmonalklappe nach der Aorta hinübergeht (Tafel VII Fig. 19). Diese Fasern schlagen sich um den Conus herum und gehen theils in die Aussenschichten der linken Kammer, theils in die Scheidewand, theils bleiben sie auf den Conus beschränkt und setzen sich an verschie-

denen Stellen des Lungenarterienrandes an. Die äussern Fasern des Conus sind von denen der Tasche nicht principiell getrennt; an der Grenze beider geht ein Theil der äusseren langen Taschenfasern um den Kegel noch herum.

Was ergiebt sich nun aus der anatomischen Präparation für das Verständniss der Mechanik des rechten Ventrikels? Der Verlauf der Fasern an der rechten Kammer lässt uns deutlich das Zustandekommen seiner Formveränderung verstehen. Die Fasern der Aussenschicht, welche linkem und rechtem Ventrikel gemeinsam angehören, ziehen bei ihrer Verkürzung letztere an jene heran und verkleinern den sagittalen und transversalen Durchmesser. Dabei müssen die, welche tangential am Atrioventricularostium vorübergehen oder von demselben entspringen und dann zu ihm tangential verlaufen, dieses Ostium gleichzeitig verengern. Die Trabekeln verkürzen durch ihre Zusammenziehung die Spitzenbasisachse der Kammer, legen sich durch die Contraction ihrer Querleisten aneinander und verdicken die äussere Wand. Die freien Papillarmuskeln werden durch ihre Befestigungen nach allen Seiten hin an ihrem Ort gehalten, welches auch die Stellung der Wände sein mag. Der Conus arteriosus muss durch die Zusammenziehung seiner Längsfasern verkürzt, durch die der Querfasern verengt werden. In der That sieht man am lebenden Herzen die diastolische Wölbung des Kegels bei jeder Systole verschwinden und seine Längsachse sich beträchtlich verkleinern. Dadurch steigt der ganze vordere Theil des rechten Herzens nach abwärts und man hat den Eindruck, als ob das ganze Herz verkürzt würde, einen Eindruck, der so mächtig in seiner Wirkung ist, dass man trotz Hesse's gegentheiliger Erweisungen noch heute allgemein eine systolische Verkürzung des ganzen Herzens annimmt. Bei der Zusammenziehung der Längsmuskeln am Conus wird, wie erwähnt, eine Unterstützung für die Semilunarklappen geschaffen. Wir haben an der Pulmonalis genau dieselben Einrichtungen wie an der Aorta: den muskulösen Boden der Klappen, den engen Muskelspalt, die weite Arterienwurzel. Die Fasern, welche von der Aortenwurzel und der erwähnten Sehne um die Lungenarterie herum gehen und in Scheidewand oder linker Kammer verschwinden, müssen noch die Aufgabe haben, die Lungenarterie fortwährend mit der Aorta zusammenzuhalten.

4. Ergebnisse für die Mechanik des ganzen Herzens.

Aus dem bisher Beschriebenen ergibt sich eine Reihe von Betrachtungen über die Formveränderung des ganzen Herzens, über die Füllungen und Entleerungen der Kammern, welche in beiden viel Ähnliches zeigen und deswegen am besten hier für beide erwähnt werden. Die Formveränderung des Herzens bei der Systole ist natürlich direct eine Folge der Anordnung und des Verlaufs der Muskelfasern, und es wurde bereits gezeigt, dass die unveränderte Länge der linken Kammer bei Verkleinerung in den Querachsen, andererseits die Verkürzung und Verschmälerung des rechten Ventrikels aus unseren jetzigen Kenntnissen des Faserverlaufs vollkommen verständlich sind.

Alle Vorgänge am Herzen: Füllung, Entleerung, Klappenschluss und Klappenöffnung müssen sehr schnell, sehr präcis und besonders gleichmässig genau für wechselnde Ansprüche an Füllungen und Widerstände vor sich gehen. Wenn die Herzaction beschleunigt ist und dabei die Pausen sich sehr stark verkürzen, so muss die Füllung ausserordentlich schnell geschehen, die Klappen müssen sehr rasch geschlossen und wieder geöffnet werden. Ferner, wenn bei starken Vagusreizungen die Pausen lang werden, so darf das Herz sich in denselben nicht überfüllen und die Atrioventricularklappen müssen trotz der starken Füllungen noch ebenso prompt im Beginn der Systole geschlossen sein wie bei jenen kleinen. Es dürfte deshalb nicht ohne Interesse sein, nach besonderen Einrichtungen zu forschen, welche diese ausgezeichnete Leistungsfähigkeit des Herzens unter den verschiedensten Verhältnissen ermöglichen; besonders für den Pathologen muss es reizvoll sein, solchen Einrichtungen nachzugehen, da natürlich Störungen derselben die Thätigkeit des Herzens ungünstig beeinflussen müssen.

Die Füllung des Herzens geschieht einmal durch den Druck, welchen das eindringende Blut besitzt — man weiss: er ist für beide Kammern sehr gering — und dann durch die Ansaugung des Bluts seitens der Lungen, der Vorhöfe und der Herzkammern selbst. Die genannten geringen Druckkräfte werden natürlich um so wirkungsvoller sein, je geringer die Widerstände im Herzen selbst sind.

Die Ansaugung des Bluts seitens der Kammern, unabhängig von der der Lungen — also eine active Diastole — ist durch mehrfache Untersuchungen ihrer Existenz nach vollkommen sicher gestellt, aber bisher noch dunkel bezüglich ihrer Entstehung. Man könnte sich denken, dass eine ungleichmässige Erschlaffung verschiedener Muskelschichten wirksam sei. Wenn die Muskeln des Triebwerkzeuges eher aus der Contraction treten als z. B. die innern Längsfasern, so müssen die zusammengepressten letzteren, weil die pressende Kraft nachlässt, auseinander schnellen. Nachdem Roy gezeigt hat, dass verschiedene Schichten des Herzens zu verschiedener Zeit mit ihrer Contraction beginnen (die Papillaren später als die äussere Wand), gewinnt diese Annahme hierdurch eine Unterstützung. Ferner scheinen elastische Kräfte im Spiel zu sein. Unter dem Endocard liegen äusserst zahlreiche elastische Fasern, umziehen mit dem Endocard alle Muskelbündel der innern Längsschichten und gehen mit ihm in alle Vertiefungen hinein. Wenn bei der Kammersystole diese einzelnen Bündel aneinander gepresst und gezerrt werden, so müssen die zahlreichen elastischen Fasern natürlich nach vielen Richtungen hin gedrückt und gezogen werden; ihre elastischen Kräfte werden in Anspruch genommen und müssen sich geltend machen, sobald die pressenden Kräfte nachlassen, und das Herz im Anfang der Diastole öffnen. Ebenso können die elastischen Platten wirken, welche von den Semilunarklappen ausgehend sich in das Innere der Musculatur unterhalb der Aortenwurzel hinein erstrecken. Sie werden in der Systole ebenfalls gepresst werden und im Beginn der Erschlaffung ihrerseits einen Druck auf die weiche Musculatur ausüben. Endlich steht tief im Herzen die immer unter hohem Druck stark gefüllte Aortenwurzel. Sie strebt natürlich fortdauernd danach, sich eine gewisse Form zu erhalten, welche von ihrer eignen Elasticität und den Widerständen der Umgebung abhängig ist. Wenn durch die kräftige systolische Verkleinerung der Herzbasis diese Gleichgewichtslage der Aortenwurzel verändert worden ist, so wird sie im Beginn der Diastole ihr Bestreben, eine gewisse Form beizubehalten, geltend machen und muss die weiche Herzmusculatur, an der Scheidewand wenigstens, sofort auseinandertreiben.

Die Füllung der Kammern findet jedenfalls zum Theil in dieser ersten Periode des negativen Druckes statt; dass auch noch in dem

weiteren Verlauf der Diastole Blut in die Kammern einströmt, dass bei längeren Pausen vielfach entsprechend grössere Füllungen eintreten, sieht man stets bei geöffneter Brusthöhle. Die geringen Druckkräfte des einströmenden Blutes werden natürlich um so wirkungsvoller sein, je kleiner die Widerstände sind, welche die Herzwandungen der Füllung entgegensetzen. Diese Widerstände des lebenden Herzmuskels selbst sind, wie Hesse gezeigt hat, anfangs geringe und wachsen mit der Spannung der Wand. Ausserdem sind Vorrichtungen vorhanden, welche dem eindringenden Blute die Erweiterung und Entfaltung der Herzhöhlen besonders erleichtern. Dazu gehört einmal die durch die Spaltung der innern Längsschichten in beiden Kammern hervorgerufene beträchtliche Vergrösserung der Oberfläche — der Druck des eindringenden Blutes erhält eine wesentlich grössere Angriffsfläche als wenn die Innenschicht glatt wäre — und dann die durch dieselbe anatomische Einrichtung hervorgerufene Verdünnung der Wand. Dies gilt für beide Kammern. Am Menschen ist die Zerklüftung der Innenschichten in noch viel stärkerem Maasse vorhanden als am Hunde. Tafel III Fig. 7 u. 8 zeigen zwei menschliche Herzen von etwa gleicher Grösse in Systole und Diastole in gleicher Entfernung von der Spitze quer geschnitten. Man sieht dabei, dass die Spaltung der Wand am rechten Ventrikel noch viel weiter entwickelt ist als am linken. Beiderseits ist die Scheidewand fast glatt. Die ungeheuer dünne Aussenwand der rechten Kammer mit ihren vielen Ausbuchtungen muss dem Blutstrom ganz besonders geringe Widerstände wegen ihrer leichten Dehnbarkeit entgegensetzen. Das ist von grösster Wichtigkeit. Denn der Druck des in den grossen Hohlvenen strömenden Bluts ist unter Umständen, z. B. wenn Muskelbewegungen nicht die Blutbewegung befördern, äusserst gering. Wegen der dünnen Aussenwand liegt an der rechten Kammer sogar die Gefahr der Überfüllung vor; diese ist keine geringe, denn klinische und experimentelle Erfahrungen zeigen, dass mit Blutmengen, welche eine bestimmte Grösse überschreiten, die Kammern häufig nicht fertig werden d. h. sie nicht vollständig auswerfen können; besonders gilt dies für den rechten Ventrikel. Nun, gerade dieser hat aber Einrichtungen, die ihn vor Überfüllung schützen: die zahlreichen Muskelbalken, welche quer durch die Kammerhöhle durchgehen, werden, sobald sie sich bei wachsender Füllung spannen,

die fortschreitende Entfernung der Aussenwand von der Scheidewand wirksam verhindern. Für die linke Kammer, an der schon die dicken Wände allein bei wachsender Spannung grosse Widerstände bieten, dürfte eine solche besondere Einrichtung nicht nothwendig sein.

Da, wie Blutdruckcurven der Herzkammern und der Vorhöfe zeigen, die Atrioventricularklappen bei allen Füllungsgraden ohne Regurgitation schliessen, so müssen für diese Ventile besondere Vorrichtungen vorhanden sein, mittels der sie in jedem Falle am Ende der Diastole zum Schluss gebracht und während der ganzen Systole verschlossen gehalten werden können. Es ist bekannt, dass man die Schliessung der Klappen d. h. die Auseinanderlegung der Segelränder in das Ende der Diastole legen und wahrscheinlich in Abhängigkeit bringen muss von der Contraction der Vorhöfe. Damit die Ränder überhaupt aneinander gelegt werden können, ist abgesehen von einer gewissen Zartheit und Beweglichkeit der Segel nothwendig, dass sie sich während der Kammerdiastole ungefähr in der Mitte der Kammern halten. Durch die andauernd bluthaltigen Räume, welche oberhalb der Papillarmuskeln liegen, wird verhindert, dass die Klappensegel sich in der Kammersystole hart an die Wände anlegen und etwa mit diesen verkleben. Die Buchten, welche sich zwischen den Ansatzpunkten der Chordae auf der Unterseite der Klappen selbst befinden, und während der Diastole die Spaltung der Innenschichten dienen offenbar demselben Zwecke.

Wenn die Kammern sich allmählich mit Blut füllen, so wird die Stellung der Ventile im wesentlichen abhängig sein von der Lage ihrer Ansatzpunkte, da die Schwere der Segel eine so geringe ist, dass sie nicht in Betracht kommt. In der linken Kammer gehen die Papillarmuskeln ganz von der freien Wand aus, zwar vorwiegend von vorn und hinten, doch wurde schon erwähnt, dass diese Eintheilung in zwei Papillaren eine mehr oder minder willkürliche ist, dass auch von den übrigen Stellen der freien Wand Papillaren abgehen. Jedenfalls sind die Chordae angeheftet an zahlreiche Stellen der Aussenwand und zwar an solche, die einen Abstand von den tiefsten Stellen der zwischen den Trabekeln liegenden Partien haben. Fig. 3 zeigt, wie beträchtlich dieser Abstand ist. Dazu kommt, dass der Haupttheil der linken Herzhöhle nicht direct unter dem Ostium atrioventriculare, sondern unterhalb der Aortenausfluss-

öffnung liegt, und dass die erstere an Umfang kleiner ist als die darunter liegenden Querschnitte (Tafel I Fig. 2); ferner, dass, wie erwähnt, die Aorta im Winkel aus der linken Kammer abgeht (Tafel I Fig. 2). Alles dies muss zur Folge haben, dass das grosse Mitralsegel durch das Blut fortwährend einen Trieb nach oben und nach der Mitte der Atrioventricularöffnung erhält, und dass die untern Enden der Vorhofsklappen immer der Mittellinie der linken Kammer mehr genähert werden als die obern; das Blut fliesst aus dem Vorhof durch das Ostium hinter die Klappen und sucht sie entsprechend der Dauer der Diastole mehr und mehr der »Stellung«, welche sie im Anfang der Kammersystole einnehmen müssen, zu nähern. Sobald sich die Ventrikelmusculatur zusammenzieht, werden die Segel durch das Blut fest aneinander gedrückt; der Verschluss ist um so leichter zu erhalten, je weiter die Systole vorgeschritten ist, weil mit Zunahme derselben die Grösse der aufeinander gepressten Klappenflächen wächst und weil das zu schliessende Ostium sich mehr und mehr verengt (s. Hesse's Bilder u. hier Tafel VII Fig. 20). Diese Verengerung der Atrioventricularöffnung kommt einmal durch die Contraction der oberen horizontalen Fasern des Triebwerkzeuges zu Stande, weiter aber auch durch den vielfach horizontalen Abgang der äusseren Längsfasern, beziehentlich durch den anfänglichen horizontalen Verlauf vieler derselben. Bei Insufficienzen der Mitralis in Folge von anatomischen Klappenveränderungen wird die Kammer hauptsächlich im Anfange der Systole nicht abgeschlossen sein, weil die Klappen, sobald sie in Folge irgend welcher pathologisch-anatomischer Veränderungen ihre Weichheit und Zartheit eingebüsst haben, nicht schnell genug die zum Abschluss der Kammer nothwendigen Bewegungen ausführen, weil sie namentlich kleinen Kräften nicht schnell genug folgen. Im weiteren Verlauf der Systole wird bei guter Muskelcontraction das Ostium so verengt, die Klappen werden mit einem grossen Theil ihrer Fläche so aufeinander gepresst, dass Veränderungen der Segel nicht nur an den Rändern, sondern nach dem Atrioventricularring zu vorhanden sein müssen, um sie unsufficient zu lassen. Man sieht jetzt deutlich, wie gestörte Muskelcontractionen eine bestehende Klappenveränderung in der Bildung einer Insufficienz unterstützen müssen oder auch ohne anatomische Klappenläsionen, ganz für sich allein Insufficienz hervorrufen können. Denn bei hohen

intracardialen Drücken vermag die Mitralis nur, wenn das Ostium verengt ist, zu schliessen.

In der rechten Kammer, deren Form während der Systole in mehr Richtungen und stärker verändert wird als die der linken (man bedenke die Verkürzung dreier Durchmesser rechts gegen die zweier links), sind die Einrichtungen, welche den schnellen Schluss der Klappen begünstigen, ebenfalls äusserst sorgfältige. Tafel V Fig. 14 stellt die Tricuspidalis dar. Man sieht ihre bekannte röhrenförmige Gestalt, man sieht die zahlreichen Chordae, die von ihr nach allen Seiten hin abgehen. Die Papillarmuskeln sitzen theils an der Scheidewand, theils steigen sie aus dem Geflecht am Boden der Kammer auf. Wie auseinander gesetzt, müssen die letzteren wegen ihrer allseitigen Befestigungen stets annähernd in der Mitte der Kammer bleiben, denn die Scheidewand verändert ihre Form während der Diastole so gut wie nicht. Man sieht: es ist an der rechten Kammer dafür gesorgt, dass die Ansatzpunkte der Chordae und damit die untern Ränder der Segel stets nach der Mitte der Kammer zu gehalten werden. Das weitere ist genau so wie am linken Herzen.

Auch an den arteriellen Klappen sind Einrichtungen für ein schnelles Spiel der Klappen vorhanden; Aorta und Pulmonalis werden zweckmässig zusammen betrachtet, weil sie vieles Ähnliche bieten. Die Strömungsbahn nach den beiden Ostien ist, wie Tafel I Fig. 2, 3, 4, u. Tafel VI Fig. 15 zeigen, vorzüglich glatt, alle Wülste, die in der Nähe der Ausflussöffnungen vorhanden sind, liegen in der Richtung des Stromes und begünstigen dadurch die Entleerung des Blutes. Wie erwähnt, stellt das Aortenostium während der Systole einen Spalt dar, und auch schon unterhalb desselben ist (Tafel I Fig. 2) das Ausflussrohr in seinem oberen Theile verengt. Die spaltförmige Gestalt des Ostiums selbst ist hervorgerufen durch die Entstehung der bekannten Muskelwülste, welche den Boden der taschenförmigen Klappen bilden; der Spalt wird enger mit zunehmender Systole. Die Klappen selbst sind an die Ränder dieser Muskelwülste angesetzt. Die gestellten Segel stehen fast vollständig in der Richtuug des Blutstroms, also senkrecht zur Ebene des Ostiums, nicht wie man sich gewöhnlich vorstellt in derselben mit nur geringer Umbiegung ihrer Ränder. Dadurch, dass das Blut in den engen Muskelspalt gepresst wird und dann in den weiten Raum oberhalb der Klappen kommt (die

Raumunterschiede gehen sehr deutlich aus Tafel VII Fig. 19 hervor), müssen immer Wirbelbewegungen und Kreisströme entstehen, welche die Klappensegel fortwährend einander zu nähern streben und nur deswegen nicht nähern können, weil das unter hohem Druck stehende durchfliessende Blut sie auseinander drängt; hört der Blutstrom auf, so müssen die Klappen, wie durch Federkraft getrieben, sich aneinander legen, man sieht, der Schluss erfolgt offenbar ausserordentlich schnell und auch hier ohne alle Regurgitation. Das wird durch Druckmessungen in den Kammern bestätigt, man sieht keine Spur eines Zurückfliessens. Der Verschluss wird dann durch die Differenz zwischen Aorten- und Ventrikeldruck aufrecht erhalten, und diese genügt, nachdem die Klappen einmal geschlossen sind, offenbar auch wenn die Muskeln der Kammer erschlaffen und die musculären Unterstützungen der Kammer wegfallen. Dies alles ist wichtig für die Lehre von der Aorteninsufficienz; man kennt nicht wenige Fälle dieses Klappenfehlers, bei denen an den häutigen Ventilen selbst nichts Abnormes zu finden ist; sie fallen zusammen mit mangelhaften Muskelcontractionen und haben offenbar ihren Grund in ungenügender Bildung der für schnellen Verschluss des Ostiums nothwendigen Muskelwülste am Boden der Semilunarklappen. An der Lungenarterie sind, wie Tafel VI Fig. 17 zeigt, principiell genau dieselben Einrichtungen vorhanden, sie brauchen deshalb nicht besonders auseinandergesetzt zu werden.

Benutzte Literatur.

C. Ludwig, Über den Bau und die Bewegungen der Herzventrikel. Ztschrft. f. ration. Med. Band 7.

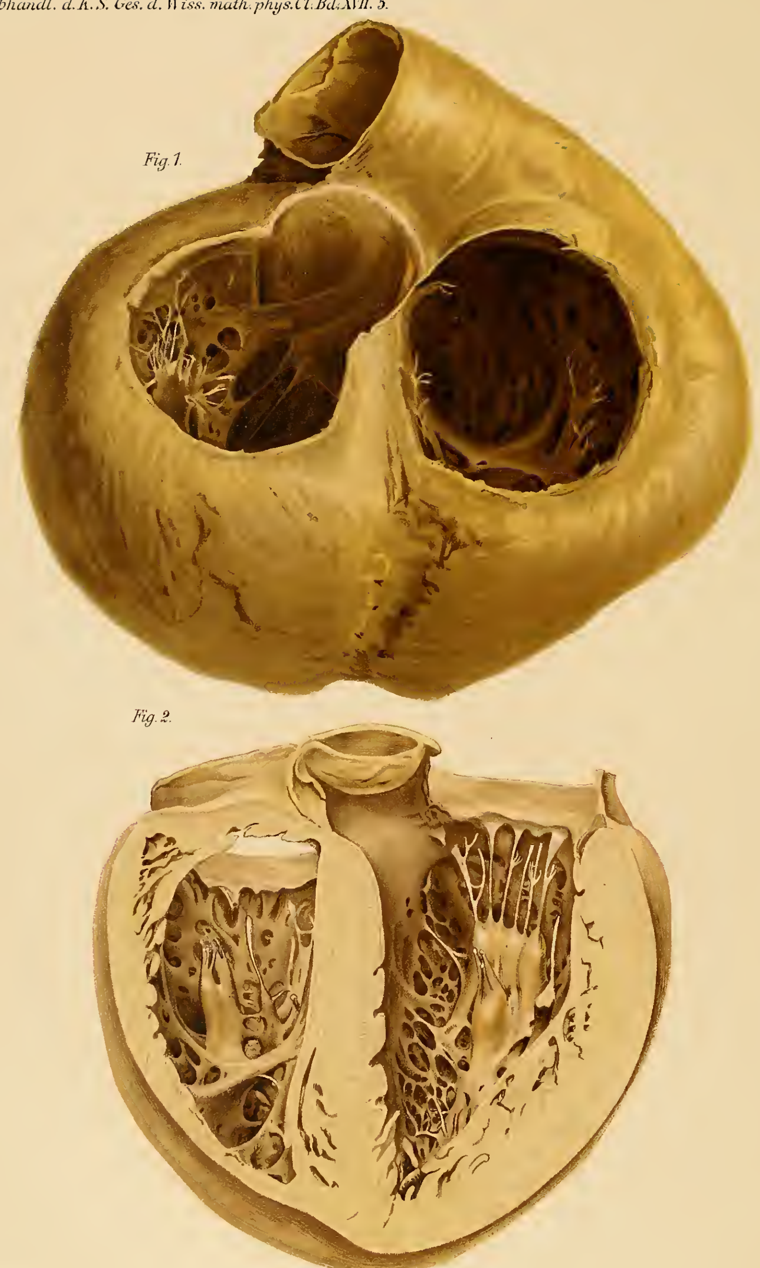
Hesse, Beiträge zur Mechanik der Herzbewegung. Archiv für Anatomie von His und Braune. 1880.

Henle, Handbuch der systemat. Anatomie III.

Roy u. Adami, Heart-beat and Pulse-wave. Practitioner 1890.

J. Gaule, Zur Deutung des negativen Druckes in den Herzventrikeln. Centralblatt für Physiologie 1890. No. 21.





M. Brödel fec.

Tafel I.

Figur 1.

Menschliches Herz mit Salpetersäure behandelt; diastolischer Zustand. Vorhöfe und sämmtliche Klappen entfernt. Im linken Ventrikel ist die Faserung an der Scheidewand unmittelbar unter der Aortenwurzel blosgelegt, vergl. Fig. 3 u. 4. Vom Atrioventricularring links gehen die oberflächlichsten Fibrillen der Aussenschicht schräg nach hinten und unten ab. An der rechten Kammer ist die Faserung präparirt, welche an der Wurzel der Aorta entspringt und die äusserste Schicht des Conus arteriosus bildet; sie schlägt sich um denselben herum und geht in die Vorderwand des linken Ventrikels, vergl. Tafel VII Fig. 19. In der Tiefe der rechten Kammer ist der grosse Papillarmuskel und sein Ursprung von dem Querwulst deutlich, der zwischen Recessus und Conus arteriosus von der Scheidewand zur Aussenwand zieht, vergl. Tafel V Fig. 11, 12, 13.

Figur 2.

Menschliches Herz in halber Diastole mit doppelt chromsaurem Kali gehärtet; die vordere Wand beider Kammern ist weggenommen; die sehnigen Fortsetzungen der Papillarmuskeln und die Zipfelklappen sind abgeschnitten. Zum Vorschein kommt im linken Ventrikel die Schaar der gerade zum Rand der Atrioventricularmündung aufsteigenden Fasern, welche sich zum Theil direct, zum Theil durch Sehnen an dieselbe anheften, und zu denen auch die Papillaren zu rechnen sind. Diese entspringen näher der Herzspitze, die übrigen gerade aufsteigenden Bündel entfernter von ihr aus der Herzwand.

Abweichend von links entspringt in der rechten Kammer der grösste der frei, nicht an der Scheidewand stehenden Papillarmuskeln aus den Bögen, welche von der Scheidewand nach der Aussenwand hinüberziehen, vergl. Tafel V Fig. 12, 13. In beiden Kammern sieht man die tiefen Buchten zwischen den gespaltenen inneren Längsschichten.

Tafel I.

Figur 3.

Menschliches Herz schwach mit Salpetersäure behandelt. Ansicht der Innenfläche des linken Ventrikels. Der eröffnende Schnitt ist durch die Mitte der Aussenwand gelegt. Vorhöfe und Arterien entfernt, Atrioventricularklappen und Endocard erhalten. Im Gegensatz zu allen übrigen Stücken der innern Wandfläche ist das an der Scheidewand in der Nähe des Aortenrings gelegene glatte. Die Faserbündel, welche in ihm verlaufen und durch das Endocard duchscheinen, sind in

Figur 4

frei präparirt; es kommen auf das Deutlichste in diesem Präparat, in welchem die innersten Muskelschichten überall ausser an der Scheidewand weggenommen sind, auf dieser zwei Züge zum Vorschein, die sich kreuzen und an den vorderen und hinteren Aortenpunkt ansetzen. Der schwächere oberflächlichere kommt von der Vorderwand und heftet sich an den hinteren tiefer gelegenen Aortenrand an. Das darunter gelegene bedeutend stärkere Bündel geht gegen den vorderen Aortenpunkt hin, welcher über den Atrioventricularring hinausragt. Bei der Systole müssen diese Züge die Aortenwurzel verengern und das grosse Mitralsegel an die Scheidewand heranziehen. Vergl. Tafel II Fig. 5 u. 6.

Tab. I.

Fig. 3.



Fig. 4.

Lith. Anst v E. A. Funke, Leipzig





Tafel II.

Figur 5 und 6.

Hundeherzen mit Salpetersäure behandelt. Der rechte Ventrikel in Diastole, der linke in halber Systole. Vorhöfe, Arterien, Klappen entfernt. Ein Theil der Aussenwand der linken Kammer weggenommen.

An beiden Präparaten sind die Fasern deutlich, welche von der Aussenseite des hinteren Aortenpunktes auf die Hinterfläche der rechten Kammer übergehen, und die, welche am vorderen Theile des Aortenringes entspringen und die Wölbung des Conus arteriosus bilden.

Die in Fig. 4 erwähnten sich kreuzenden Bündel an der Innenfläche der Scheidewand des linken Ventrikels sind dargestellt und betheiligen sich an der Bildung der Muskelwülste, welche die Semilunarklappen stützen.

Fig 5.



Fig. 6.



M. Brödel fec. Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig





Fig. 7^a



Fig. 7^b



Tafel III.

Figur 7.

Von zwei etwa gleich grossen menschlichen Herzen wurde das eine in Systole, das andere in Diastole fixirt. Dünne Querschnitte durch beide an der Grenze von unterem und mittlerem Drittel. Flächenbild des systolischen Herzens 7^a, des diastolischen 7^b.

An dem vollkommen entfalteten diastolischen linken Ventrikel 7^b heben sich von der freien Wand zahlreiche Vorsprünge ab, welche aus steil aufsteigenden Fasern gebaut sind; in den Lücken zwischen je zwei solcher Vorsprünge zeigen sich auf dem Durchschnitt Andeutungen von Fasern, die in mehr horizontaler Richtung hinziehen und zum Theil in die innersten Bündel einbiegen. An der Scheidewand fehlen die Vorsprünge.

An dem vollkommen contrahirten Herzen 7^a sind die einzelnen inneren Längsbündel dicht aneinander gelagert, die Lücken zwischen je zwei benachbarten vorspringenden Faserungen verschwunden. Die Vorsprünge selbst haben an Querschnitt zugenommen, die am diastolischen Ventrikel glatte Scheidewand ist gefaltet, ihr Durchmesser in der Richtung von rechts nach links beträchtlich verstärkt. Die auf dem Durchschnitt sichtbaren mittleren annähernd circularen Fasern biegen am systolischen Herzen stärker als am diastolischen gegen die Vorsprünge um, als ob der innere Abschnitt der Fasern zusammengeschoben wäre.

Am entfalteten rechten Ventrikel zeigt sich die Aussenwand sehr verdünnt. Auf der inneren Fläche der freien Wand treten Vorsprünge auf, welche sich von derselben zeitweilig loslösen und dann wieder in sie übergehen oder aber quer durch die Höhle von der Aussenwand zur Scheidewand übertreten. In dem systolischen rechten Ventrikel sind die Vorsprünge verdickt und einander bis zur Berührung genähert.

Tafel III.

Figur 8.

Dünne Flachschnitte durch dieselben Herzen wie in Figur 7, an der Grenze von mittlerem und oberem Drittel.

Auch in dem systolischen linken Ventrikel wird die Scheidewand nach der Aortenmündung zu (8^a) glatt. Die Gruppen der Papillarmuskeln sondern sich in beiden Kammern am systolischen wie diastolischen Herzen nach der Basis zu schärfer von den inneren Längsbündeln ab als im unteren Drittel. Die grosse Papillare des rechten Ventrikels zeigt in 8^b ihre zahlreichen Befestigungen.

Fig. 8.a



Fig. 8.b







Tafel IV.

Figur 9.

Die in sich zurückkehrende sehnenlose Faserung des linken Ventrikels am menschlichen Herzen nach Entfernung der äusseren und inneren Muskelzüge. Klappenring und Spitze sind natürlich mit weggenommen. An der Herzspitze fehlt diese sehnenlose Schicht; durch die dort bestehende Öffnung verbinden sich im sogenannten Herzwirbel die äusseren und inneren Muskelzüge. In der hier gezeichneten Seitenansicht der sehnenlosen Faserung bleibt die untere Öffnung verdeckt, also unsichtbar. Auf die obere Öffnung lagert sich am vollständigen Herzen der Atrioventricularring mit den sehnigen Ansätzen der äusseren und inneren Längsschichten auf.

Figur 10.

Dasselbe. Die Form des ganzen Herzens ist schematisch angegeben, um die Lage der sehnenlosen Faserung im Verhältniss zu der mit Sehnen behafteten zu zeigen.

Fig 9



Fig 10.



M. Brödel fec.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.

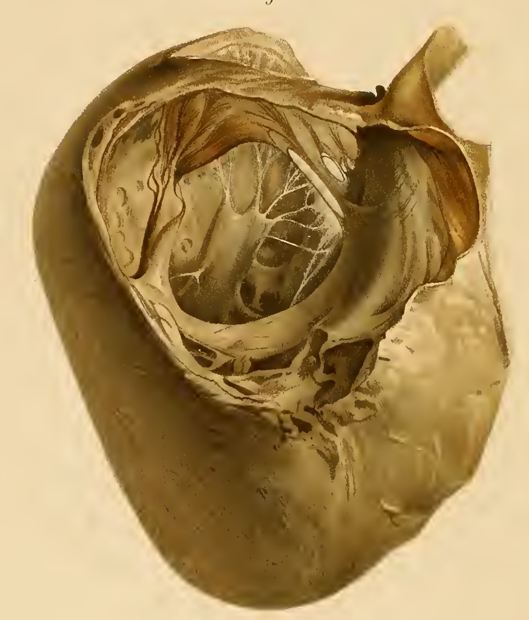




Fig. 11.



Fig. 12.



M. Brödel fec.

Tafel V.

Figur 11.

Perspectivische Ansicht eines ringförmigen Querschnitts des diastolischen Menschenherzens im mittleren Drittel; das obere und untere Drittel sind weggenommen. Die Figur gibt eine deutliche Ansicht der zahlreichen Muskelbündel und Faserzüge, welche im rechten Ventrikel Scheidewand und Aussenwand in allen möglichen Richtungen verbinden. Sie sind an Masse viel bedeutender als die Muskeln, die stetig fortlaufend den Umfang der Kammer bilden; dünne Endocard- und Sehnenfäden durchziehen in allen Richtungen die Höhle und setzen die Muskelbündel in Beziehung zu einander. Die vielfache Befestigung der frei stehenden Papillaren ist auf das schönste zu sehen.

Figur 12.

Menschliches Herz in doppeltchromsaurem Kali gehärtet. Mit dieser Figur sind zu vergleichen die Abbildungen 13, 14, 18, welche die Klappen und ihre zugehörigen Papillaren zur Anschauung bringen.

Nach Entfernung des Conus arteriosus stellt sich zunächst die vor dem Eingang desselben stehende Klappe dar. Ihre linke Hälfte wird von den Sehnen versorgt, welche aus dem vordersten horizontal stehenden Papillarmuskel der Scheidewand hervorgehen, die rechte Hälfte von der grossen Papillare, welche in der Mitte der Höhle steht (vergl. Fig. 2 u. Fig. 11). Der Papillarmuskel der Scheidewand braucht nur so kurz zu sein, weil sein Ursprungsort feststeht, im Gegensatz zu den äusserst stark beweglichen freien Papillaren. Unter der vor dem Conus stehenden Klappe hindurch erscheint der zweite der freien Papillarmuskeln, die aus den Bündeln hervorgehen, welche quer durch die Ventrikelhöhle ziehen.

Tafel V.

Figur 13.

Menschliches Herz. Aussicht durch die klappenfreie Öffnung des Ostium venosum dextrum auf den vorderen frei stehenden Papillarmuskel; sein Ursprung und das Hineinragen in die Mitte der Höhle, sowie mehrfache Fäden, welche von ihm zur freien Wand gehen, werden hier deutlicher als durch die Seitenansicht.

Figur 14.

Ansicht einer menschlichen Tricuspidalklappe von unten und vorn. Das Verhältniss von Papillaren und Segeln ist principiell doch dasselbe wie am linken Ventrikel. Jeder Warzenmuskel gibt Chorden zu zwei grösseren Segeln und hat zwischen diesen einen kleinen intermediären Lappen für sich allein. Das ist hier am deutlichsten für die kurz unter ihrer Spitze abgeschnittene vordere äussere Papillare. Man sieht, wie sie die vordere Hälfte des äusseren Segels und die rechte des vorderen Lappens versorgt und, dass über ihr ein kleiner intermediärer Lappen steht. Der erste Scheidewandmuskel gibt auf der Figur seine Sehnen zur linken Hälfte des Conussegels und zu einem kleinen (hier gefalteten) intermediären Lappen.

Fig 13



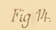


Fig 14.



Lith. Anst. v. F. A. Funke Leipzig





Fig. 15.

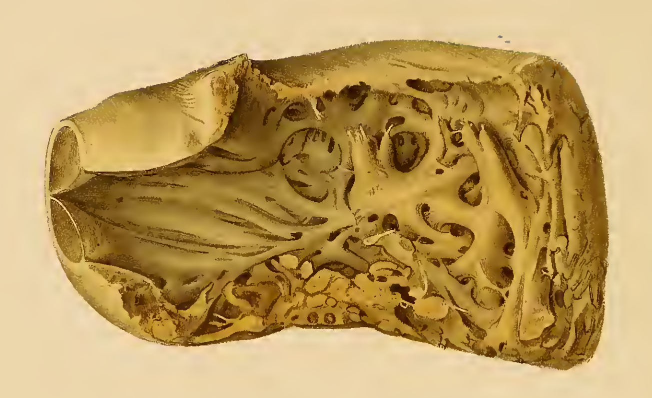
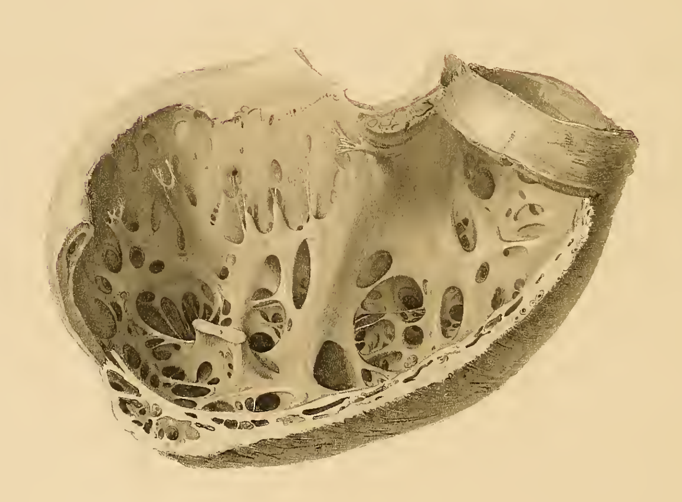


Fig. 16.



M. Brödel fec.

Tafel VI.

Figur 15

veranschaulicht die Faserung an der Innenfläche der freien Wand eines rechten Ventrikels vom Menschen. Die Muskelbündel, welche in der Diastole scheinbar regellos liegen, sind hier am systolischen Organ nach zwei Richtungen geordnet: in der Tasche von der Spitze nach der Basis zu, im Conus senkrecht zur genannten Richtung, also in der Längsachse desselben. An dem Pulmonalostium bilden die Enden der zusammengezogenen Längswülste die musculösen Unterstützungen der Klappen. In der Tasche sind die grösseren Hauptzüge durch Querleisten mit einander verbunden.

Figur 16.

Ansicht der Scheidewand in der rechten Kammer eines schwach mit Salpetersäure behandelten menschlichen Herzens. Im Recessus sind die zahlreichen kurzen Papillaren der medialen Wand sichtbar; an der Grenze zwischen Tasche und Conus der vorderste kurze horizontal stehende Muskel, welcher seine Sehnenfäden zu der linken Hälfte des vorderen Segels gibt. Die grosse äussere Papillare ist dicht über ihrem Ursprung abgeschnitten.

Tafel VI.

Figur 17.

Menschliches Herz mit Salpetersäure schwach behandelt. Vorhöfe weggenommen. Ansicht von oben. Rechter Ventrikel in Systole, linker in halber Diastole.

Die Mündung der Lungenarterie ist unterhalb des Ansatzes der Semilunarklappen verengt, oberhalb derselben erweitert. Die Taschen empfangen von den zusammengezogenen Längsmuskeln des Conus eine Unterstützung an ihrem Boden. An der Aortenwurzel stellen sich die Unterstützungen dar, welche die beiden vorderen Klappen von den Muskeln erhalten.

Figur 18

zeigt am Menschenherzen den schon beschriebenen Ursprung des grossen äusseren Papillarmuskels im rechten Ventrikel sowie die an Fig. 14 erläuterte Anordnung der Tricuspidalis auf das deutlichste. Die dort auseinandergesetzten Beziehungen zwischen Papillaren und Segeln sind hier sowohl für den ersten Warzenmuskel der Scheidewand als auch für die vordere und hintere freistehende Papillare anschaulich gemacht. In der linken Kammer ist zum Vergleich der hintere intermediäre Lappen gezeichnet.

Fig. 17.



Fig. 18



Lith. Anst. v. E. A. Funke Leipzig





Tafel VII.

Figur 19.

Diastolisches Hundeherz mit Salpetersäure behandelt. Vorhöfe und Aortenwurzel sind weggenommen, um den Ursprung der Faserung sichtbar zu machen, welche den Conus umgreift und gegen den linken Ventrikel zieht. Sie geht von einem Sehnenstreifen aus, der die Lungenarterie mit dem hinteren Ende der Aorta verbindet. Nach vorn zu entspringt von dieser Sehne ein beträchtlicher Theil der Vorderwandmuskeln des linken Ventrikels. Am Menschenherzen ist der Sehnenstreif nicht deutlich ausgesprochen. Vergl. Fig. 1.

Durch das offene Ostium atrioventriculare dextrum sieht man die drei grossen Papillarmuskeln des rechten Herzens, welche beim Hund im Gegensatz zu den Verhältnissen des menschlichen Organs sämmtlich von der Scheidewand entspringen.

Figur 20.

Hundeherz in vollkommener Systole. Die venösen Ostien sind allein durch die Musculatur fast vollkommen verschlossen; die Mündungen der Arterien sind stark verengt. Die rechte Kammer ist durch Wegnahme eines Theils der Aussenwand eröffnet. Die systolische Verkleinerung der Ventrikelhöhle sowie die Stellung der venösen Klappe und die Bildung der Muskelwülste an der Lungenarterie sind deutlich.



M. Brödel fec.

Lith. Anst. v. F. A. Funke, Leipzig



